

# 二维彩虹全息图母版的非相干光拷贝技术\*

张向苏 刘 守

(厦门大学物理系, 厦门 361005)

**摘 要** 描述一种用非相干光制作二维彩虹模压全息图母版的新技术。该技术用紫外灯作为记录光源, 记录系统中不用任何光学元件, 记录过程不需防振条件。色彩编码是从记录了狭缝像的“彩虹版”上进行条纹复制而获得。彩虹版可以无数次重复使用, 所以全息图母版的记录十分简单。该技术投资少、效率高, 制出的全息图质量好, 对大批量模压全息图制造有很高的实用价值。

**关键词** 二维彩虹全息图, 模压全息图母版, 非相干光, 全息图复制。

## 1 引 言

全息图走向产品化是从 80 年代初模压技术的出现而开始的。模压全息图的主要产品是防伪标识, 而防伪标识的制作技术中应用最广的是 Benton<sup>[1]</sup>的两步彩虹全息技术。全息图的记录靠的是两束激光的干涉。在记录过程中, 所有光学元件及环境必须保持极高的稳定性, 才能在全息版上成功记录下干涉条纹。因此, 产生高相干性光源的激光器, 以及具有高防震性能的工作台和光学元件夹具是制作彩虹全息图母版的必要条件。此外, 较长的静台和曝光时间, 使得工作效率无法提高。70 年代末 Steven<sup>[2]</sup>发明了“相干拷贝”法来制作二维彩虹全息图, 有效地解决了 Benton 的方法中图像像差大的问题。但该方法仍需要高相干性的光源和高稳定性的工作条件。1984 年, Bahuguna 和 Santoyo<sup>[3]</sup>提出了“一步无透镜”法制作二维彩虹全息图。此方法能使彩虹全息图的记录过程简单, 但仍必须使用激光作为记录光源, 而且全息图只能是单色, 因而长期以来没有实用。

本文描述一种制作二维彩虹全息图光刻胶母版的新技术——非相干光一步拷贝法。此方法在彩虹全息图多色编码记录过程中只用一台紫外灯装置, 根本不用激光器和其它光学元件, 不需任何防震条件, 从而大大降低投资成本, 并降低能耗、提高工作效率。

## 2 技术原理

彩虹全息图对色彩的编制采用的是狭缝技术<sup>[1]</sup>, 利用不同参数记录的狭缝可重现出不同颜色。因此通常一张彩虹全息图中有几种颜色, 就必须用激光进行几次狭缝记录。

本技术不再用激光对每张全息图进行狭缝编码记录, 而是将对应不同颜色的狭缝编码分

\* 福建省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1997-12-25; 收到修改稿日期: 1998-06-14

开记录在不同的全息版上作为狭缝母版,称为“彩虹版”。每张彩虹版在记录时的光路参数不同,所以只对应一种单色。将彩虹版与光刻胶版紧密接触,只要用单束非相干光即可将干涉条纹从彩虹版转移到光刻胶版上。用此方法,将对应与同一颜色的二维透明片和彩虹版拷贝到光刻胶版上,每种颜色进行一次,即完成了彩虹全息图母版的记录。彩虹版在正常拷贝过程中不会损坏,所以一套彩虹版可用来制作无数彩虹全息图母版。

非相干光拷贝的全息图记录如图1所示。图中S为记录光源, T为二维透明物, H<sub>1</sub>为具

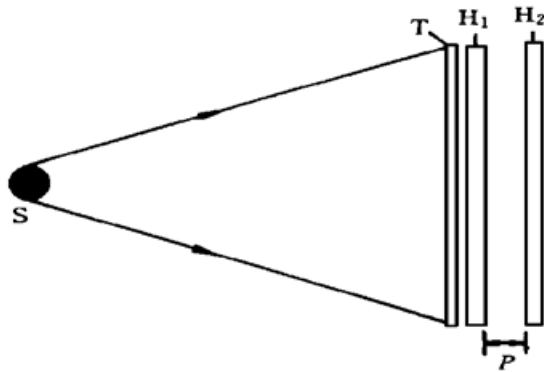


Fig. 1 General arrangement for hologram replication using non-coherent light. (T- transparency, P-separation between H<sub>1</sub> and H<sub>2</sub>)

有狭缝像的彩虹版, H<sub>2</sub>为记录彩虹全息图的光刻胶版, P为放大的H<sub>1</sub>和H<sub>2</sub>之间的距离,实际上约在微米数量级。T、H<sub>1</sub>和H<sub>2</sub>紧密接触,发散的记录光源从物的方向垂直入射。理论上,要达到理想的复制效果,H<sub>1</sub>和H<sub>2</sub>之间的间隔P在整个接触面上都必须小于一个波长<sup>[4]</sup>,这在实践中是难以实现的。当P大于一个波长时,H<sub>2</sub>上记录的是通过H<sub>1</sub>产生的衍射光和非衍射光之间的干涉条纹。在这种情况下能否成功地在H<sub>2</sub>上复制H<sub>1</sub>,取决于光源的相干特性和衍射效果。根据 Collier<sup>[5]</sup>等人的理论描述,在图1所示的记录系统中,在H<sub>1</sub>是平面全息图(即具有较低光栅频率)的条件下,P必须满足以下条件以保证复制在H<sub>2</sub>上的条纹有高可见度:

$$P \leq \Delta L_c [2(d/\bar{\lambda})^2 - 1] \quad (1)$$

式中  $\Delta L_c$  为光源的时间相干长度,  $d$  为 H<sub>1</sub> 上条纹的光栅常数,  $\bar{\lambda}$  为光源的平均波长。

全息图母版的记录材料是光刻胶版,它对 350~ 450 nm 之间的波长敏感,所以适合用紫外光作光源。根据时间相干理论可得,中心波长在 380 nm 的紫外灯的相干长度  $\Delta L_c$  约为 3  $\mu\text{m}$ 。对于平面全息图,  $d/\bar{\lambda}$  的典型值为 3,利用(1)式可得  $P \leq 3 \mu\text{m} \times 17 = 51 \mu\text{m}$ ,即只要 H<sub>1</sub> 和 H<sub>2</sub> 之间的间隔 P 小于 51  $\mu\text{m}$ ,就能保证理想的条纹复制。这在实践中很容易做到,所以紫外灯可以用作拷贝光源。

## 3 实 验

### 3.1 制作彩虹版

彩虹版是用通常的两光束干涉法制作的透射全息图,记录的是狭缝像。记录光路和光学参数的计算都与通常用二步法制作彩虹全息图<sup>[6]</sup>时,在第二张全息图上记录狭缝是一样的。不同的是在本技术中,每个狭缝单独记录在一张全息版上作为狭缝母版,物光和参考光之间的夹角不同,即可制作出对应于不同重现光颜色的彩虹版。通常习惯将物光和狭缝重现像的角度设置在全息版的法线方向,这样,入射光的夹角就由参考光的角度决定。记录狭缝时参考光的角度可由下式算出<sup>[7]</sup>

$$\theta_r = \arcsin \left( \frac{\lambda_L}{\lambda_V} \sin \theta \right) \quad (2)$$

式中  $\theta_r$  和  $\theta$  分别为参考光和重现光相对全息版法线的角度,而  $\lambda_L$  和  $\lambda_V$  分别为激光和重现像色彩的波长。在实验中,采用的记录光源为 Ar<sup>+</sup> 激光器的 458 nm 蓝光,用透明的光刻胶版作记录材料。利用(2)式,对应不同重现颜色和  $\theta$  值可设置出多组的  $\theta_r$ 。实验中最最佳的一组数据

为: 重现光的角度  $35^\circ$ , 对应重现波长分别为  $670\text{ nm}$  (红)、 $570\text{ nm}$  (黄)、 $500\text{ nm}$  (绿) 和  $450\text{ nm}$  (蓝) 的彩虹版的参考光角度分别为  $23^\circ$ 、 $27^\circ$ 、 $31^\circ$  和  $35^\circ$ 。由于在推导(1)式时设定  $H_1$  是平面全息图, 具有较低的光栅频率, 所以参考光的入射角不能太大。本文的实验结果显示, 如果  $\theta_r$  大于  $38^\circ$ , 就无法将  $H_1$  成功地复制到  $H_2$  上。此时拷贝出的全息图或者部分亮部分暗, 或者几乎没有图像。

为了使彩虹版的重现狭缝像更明亮, 在物光的光路中采用柱面镜将光形成长条状, 照射在毛玻璃上作为狭缝物。这样可以充分利用光能量。

还试验了用天津 I 型和 Agfa8E75 银盐版作为彩虹版的记录材料, 但结果显示效果都不如光刻胶版好。原因之一是衍射效率低, 虽然银盐版的衍射效率经漂白后能大大提高, 但典型值与光刻胶版比起来, 仍有较大差距<sup>[8]</sup>; 二是银盐版的透明度较低、噪声较大。

### 3.2 彩虹全息图母版记录装置

图 2 所示的是记录二维彩虹全息图的系统装置。图 2(a) 是一个  $0.8\text{ m} \times 0.8\text{ m} \times 1.5\text{ m}$  (长  $\times$  宽  $\times$  高) 的曝光箱。DJC1000 型碘-镓紫外灯置于箱的底部, 其功率为  $1000\text{ W}$ 。图 2(b) 是待拷贝母版与掩膜版和彩虹版的安装结构。掩膜版采用高反差银盐版, 上面制有二维透明图像。三块版用夹具夹紧, 胶面方向如图中所示, 然后光刻胶版朝上放在暗箱顶部的通光口上即可曝光。每次曝光后换上另一组掩膜版和彩虹版, 对同一块光刻胶版作再一次曝光。曝光时间在  $40\text{ s}$  到  $50\text{ s}$  之间, 显影  $10\text{ s}$  左右, 显影液是质量浓度为  $1.2\%$  的氢氧化钠溶液。

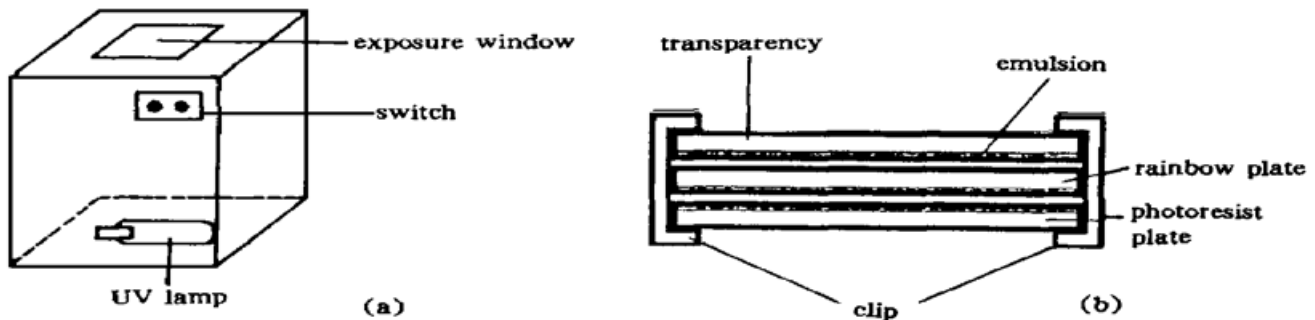


Fig. 2 Recording system of master 2D rainbow hologram using the technique. (a) Exposure box; (b) Arrangement of the three plates

## 4 实验结果及讨论

实验结果示于图 3。图中的黑白照片摄自于一张用此技术制作的模压彩色全息防伪标识。该全息图明亮、清晰、色彩丰富, 质量和用激光拷贝制作的彩虹全息图完全一样。应该提到的是, 此技术不仅能用来制作假彩色编码二维全息图, 还可以制作二维真彩色全息图。只要掩膜版上的图像是电分色版, 对应使用红、绿、蓝色的彩虹版, 在光刻胶版上作三次曝光, 即可获得二维真彩色编码全息图母版。

必须指出的是, 彩虹版衍射效率的高低, 对全息图母版的质量起着重要的影响。彩虹版的衍射效率越高, 拷贝出来的母版的衍射效率也越高。这是因为母版上的条纹并不是彩虹版上条纹的“印像”复制, 而是透过彩虹版的衍射光和非衍射光之间的干涉形成的<sup>[5]</sup>。光刻胶版可作为彩虹版的记录材料亦证实了这一点。试验结果显示, 全息图母版( $H_2$ )的衍射效率比彩虹版( $H_1$ )的衍射效率有所降低, 这是必然的, 因为在  $H_2$  上要进行多次曝光, 但它们之间成正比关系。本方法的另一关键条件是, 记录彩虹版时参、物光的夹角不能太大(本文的试验数据

是小于  $38^\circ$ 。这一条件使得光栅频率较低,亦有利于获得高衍射效率。此外,为了在  $H_2$  上获得清晰的图像,掩膜版应尽量选择反差性能高、透明度好的材料。

本技术的最大特点是用非相干光拷贝记录彩虹全息图,因而对环境的稳定性没有任何要求。只要获得一组对应不同颜色的彩虹版,二维彩虹全息图母版的制作即可摆脱激光器和防震工作台,从而大大降低投资。对于已拥有激光器和防震工作台等设备的企业,亦能从此技术中获益。因为彩虹全息图母版的记录系统简单,操作时间短,拍摄过程不受环境影响,所以工作效率和成品率都很高,还能降低能源损耗。大幅度降低的制作成本,能使全息图制造企业的经济效益显著提高。



Fig. 3 Black and white photo taken from an embossed 2D rainbow hologram made with the technique

### 参 考 文 献

- [1] Benton S. Reconstructions with extended incoherent sources. *J. Opt. Soc. Am.*, 1969, **59**(10) : 1545 ~ 1546
- [2] McGrew S. System for synthesizing strip-multiplexed holograms. *U. S. Patent* 4411489, 1983
- [3] Bahuguna R, Santoyo F. Simple rainbow-holographic technique for two-dimensional transparencies. *Opt. Lett.*, 1984, **9**(9) : 381~
- [4] Harris F, Jr., Sherman G, Billings B. Copying holograms. *Appl. Opt.*, 1966, **5**(4) : 665~ 666
- [5] Collier R, Burckhardt C, Lin L. *Optical Holography*, New York: Academic Press, 1971. 564~ 567
- [6] Benton S. The mathematical optics of white-light transmission holograms. *Proceedings of the International Symposium of Display Holography*, 1982, **1** : 5~ 14
- [7] Zhang X, Liu S, Lai H. Multi-color encoded storage rainbow holograms. *Chinese J. Lasers*, 1993, **B2** (3) : 283~ 288
- [8] Smith H. *Holographic Recording Materials*. New York: Springer-Verlag, 1977. 64~ 66

## Copying Technique for Making 2D Master Rainbow Holograms Using Non-Coherent Light

Zhang Xiangsu      Liu Shou

(Physics Department, Xiamen University, Xiamen 361005)

(Received 25 December 1997; revised 14 June 1998)

**Abstract** A technique of making 2D rainbow master holograms for embossing using non-coherent light source is described. In master hologram recording process, an uv-lamp is used as the light source, and no optical elements and anti-vibration devices are required. The color encoding is realized by fringe replication from the "rainbow plates", in which the slit images are recorded. The "rainbow plates" can be used for many times, so the recording process of master holograms is very simple. The technique has the advantages of low investment, high production efficiency and good hologram quality. Therefore it is valuable for hologram mass production.

**Key words** 2D rainbow hologram, master of embossed hologram, non-coherent light, hologram replication.